

КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЯДРА НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА

Хохлов А.С.,

*РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина (Москва),
box1563@gmail.com*

Мишутин Д.Ю., Бородин П.Е.

АО «Хоневелл» (Москва)

Dmitry.Mishutin@honeywell.com, Pavel.Borodin@honeywell.com

Аннотация: Рассмотрен подход к построению комплекса взаимосвязанных оптимизационных моделей производственного ядра нефтехимического кластера. Предлагается применить апробированный инструментарий для решения класса задач APS (Advanced Planning & Scheduling) по планированию вертикально интегрированной нефтяной компании (ВИНК) к решению ключевых задач развития подобных кластеров. В качестве примера реализации рассмотрено оптимизационное моделирование Нижнекамского нефтехимического кластера (ННХК).

Ключевые слова: развитие, оптимизационные инструменты, моделирование, нефтехимические кластеры, комплекс интегрированного планирования, линейное программирование, эффективность.

Введение

В текущем десятилетии идет интенсивное преобразование ранее возникших промышленных агломераций в отраслевые кластеры. Благодаря вниманию и инициативам правительственных госструктур, процесс преобразования принял целенаправленный характер, как в части проработки методологической базы, так и выхода постановлений для поддержки возникающих отраслевых кластеров [1].

Одной из ключевых причин столь пристального внимания в необходимости преодоления давления санкций в промышленности через импортозамещение, а стратегия избежать «хаотичности» в ее реализации, им представляется как возрождение в РФ отраслевого уровня в виде кластеров, и ориентация их на решение и этой проблемы.

Выделено шесть основных признаков промышленных кластеров, таких как «группа/инфраструктура/связи/территория/спецуправление/проекты», что и отражено [1]:

- в определении - «совокупность объектов деятельности в сфере промышленности, связанных отношениями в указанной сфере вследствие близости территорий и функциональной зависимости и размещенных на территории одного субъекта РФ или нескольких», и
- в постановлениях Правительства РФ от 31.07.2015 №779 «О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров», и от 28.01.2016 №41 «Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий участникам промышленных кластеров на возмещение части затрат при реализации совместных проектов по производству промышленной продукции кластера в целях импортозамещения»

Согласно признакам в химической отрасли выделено семь промышленных кластеров в следующих регионах: Республика Башкортостан, Омская область, Иркутская область, Томская

область, Республика Татарстан, Тульская область, Ханты-Мансийский автономный округ. Взаимодействие внутри каждого кластера должно обеспечиваться их специализированной организацией, в частности, для выработки стратегических планов и получение различных преференций от госструктур.

Агломерации в виде территориально-производственных нефтегазохимических комплексов, в указанных регионах, стали по факту ядром кластеров, и, как указано в утвержденном Минэнерго РФ «Плане развития газо- и нефтехимии России на период до 2030 года», «будет сделан упор на развитие нефтегазохимических кластеров, которые помогут комплексно решить задачи по переработке сырья, развитию производственной базы и эффективного сбыта готовой продукции».

Согласно работам М. Портера [2] и его последователей за рубежом и у нас отраслевой кластер [3,4] имеет структуру и взаимосвязи обобщенно в виде рис. 1., где ядро кластера, образуют основные промышленные предприятия, и их производства, согласно определению, размещены на территории одного субъекта РФ или нескольких.

Из структуры непосредственно следует, что показатели, характеризующие работу каждого из производств ядра кластера, должно быть дополнены оценками эффекта от агломерации и возникновения экстерналии, в терминах улучшения макропоказателей развития региона локализации, а именно [1,4]:

- динамика инвестиций / реинвестиций;
- валовой выпуск продукции / услуг в экономике региона локализации;
- прирост валового регионального продукта/налоговых поступлений/среднедушевых доходов населения;
- количество вновь создаваемых рабочих мест на основе современных технологий;
- повышение общественной производительности труда в экономике региона в целом.



Рис. 1 Обобщенная структура промышленного кластера и взаимосвязи акторов

Оценку макропоказателей развития можно получить через значения основных показателей производства, и, как правило, с использованием линейных зависимостей [5].

В докладе рассматриваются подходы к моделированию кластеров химической отрасли на примере моделирования производственного ядра Нижнекамского нефтехимического кластера (ННХК), и выработке оценок для всей структуры рис.1 в терминах указанных макропоказателей развития на основе результатов моделирования. Отметим, что ННХК входит в Камский кластер Республики Татарстан, являющийся лидером отрасли на федеральном уровне со специализированной организацией ИННОКАМ.

В качестве кластерообразующих предприятий ННХК, выбрано производственное ядро[6]: ОАО «ТАИФ-НК», АО «Танеко», ПАО «Нижнекамскнефтехим» с рядом химических и нефтехимических заводов, и ПАО «Нижнекамскшина» - дискретное производство массового характера с рядом заводов производства шин, что и представлено в виде производственной структуры на рис.2:

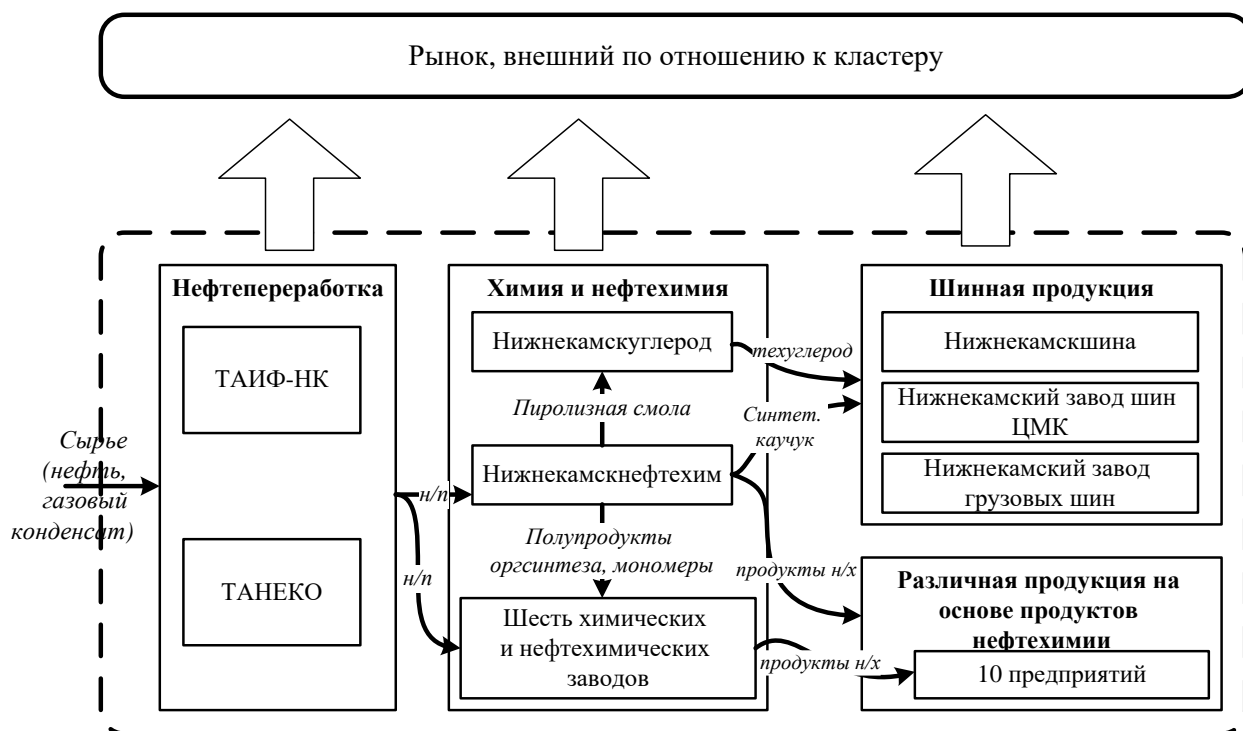


Рис.2 Производственная структура ННХК

Производственную структуру ННХК условно можно разделить на три блока рис.2:

1. ОАО «ТАИФ-НК», АО «Танеко» — производства непрерывные — НПЗ;
2. ПАО «Нижнекамскнефтехим» с рядом химических и нефтехимических заводов — совокупность в основном непрерывных производств — НХК и 10 малых и средних производителей промышленной продукции.
3. ПАО «Нижнекамскшина» — массовое дискретное производство (далее НКШ).

Рассмотрим технологические особенности первых двух блоков и, соответственно, способы их моделирования как по отдельности, так и в совокупности с учетом потоковой взаимосвязи, а затем и специфику третьего блока, модель и общий подход к моделированию всего ННХК.

Особенности технологии и модели предприятий нефтепереработки, нефтехимии

Производства непрерывного типа вообще, и предприятия нефтепереработки, нефтехимии из ННХК, в частности, характеризуются:

- крупнотоннажностью и энергоемкостью — суммарный объем первичной переработки нефти/ конденсат на двух НПЗ Нижнекамска составляет порядка 24 млн. тонн, что около 9% от ее валового объема в стране;
- колебаниями свойств сырья (сырая нефть, конденсат) — на два НПЗ Нижнекамска могут поступать различные сорта нефти и конденсат, отличающихся плотностью, вязкостью, содержанием серы и т.д., и, соответственно, возникает вопрос какую нефть выбрать для переработки;

- разнообразием технологических процессов и режимов и, соответственно, их модернизация с повышением глубины переработки и снижением энергоемкости. К примеру, ТАНЕКО планирует выйти на показатели: мощность по сырью в 15 млн тонн в год, глубина переработки 95%, выход светлых нефтепродуктов — 90%, темных — 0;
- сложной логистикой большого числа потоков и резервуарных парков (сырья, полупродуктов, товарной продукции) — например, стальные резервуары могут иметь емкость до 120 000 м³;
- интенсивной динамикой рынков различных нефтепродуктов и многовариантностью производственных планов, обусловленная большим ассортиментом продукции и конкуренцией по сбыту нефти (прямогонного бензина и бензина газового стабильного) и на топливном рынке.

Указанные характеристики порождают многовариантность при подготовке текущих/стратегических планов развития производства (программа работы объектов предприятия на горизонте внутри / более года) и при инвестиционном моделировании [5]. Это предполагает, что при расчете должна быть использована оптимизационная модель производства. Именно критерий оптимизации и позволит определить наилучший вариант среди допустимых.

Основными задачами класса APS (*Advanced Planning & Scheduling*), решаемыми на уровне предприятий двух блоков ННХК являются:

- оптимизационное производственное моделирование предприятия на горизонте планирования внутри и более года с использованием одно и многоинтервальных (многопериодных) оптимизационных моделей, позволяющих определять весь спектр целевых параметров планирования (объем и номенклатуры сырья и товарных продуктов, потребление вспомогательных материалов и технологические режимы работы производства, технико-экономические показатели работы предприятия в целом);
- технико-экономическая оценка процессинговых соглашений по переработке давальческого сырья;
- оптимизационное инвестиционное моделирование технологических реконструкций и техперевооружений (например, при подготовке Мастер-планов и Технико-Экономическое Обоснования проектов) [5];
- проведение различных расчетов технологического характера (изменение технологических режимов, структуры отбора полупродуктов, замена катализаторов и т.п.);
- решение задач оптимального выбора перерабатываемых нефтей в зависимости от состояния рынка нефти и нефтепродуктов и технологической конфигурации первых двух блоков ННХК.

Реализация этого круга задач для предприятий двух блоков ННХК, предполагает наличие оптимизационных моделей, где необходимо учитывать:

- Качество поступающих нефтей, промежуточных потоков с технологических установок, товарных нефтепродуктов (т.е. увязать качество и технологию компаундирования на производстве всех потоков от нефти до нефтепродуктов);
- Условия вход-выход технологических установок для различных видов сырья и режимов работы и сезонные нормы потребления вспомогательных материалов, энергии в диапазоне работы установки;
- Ограничения, отражающие технологию переработки, мощность и график ремонтов установок на горизонте планирования, запасы и внешнюю рыночную ситуацию. К ним относятся ресурсные, ассортиментные, производственные, спецификационные ограничения и баланс потоков (объемный и весовой);
- Экономiku переработки, включая стоимость всей номенклатуры потребляемого сырья, вспомогательных материалов, энергии и цен на товарные нефтепродукты.

В качестве критерия оптимизации используется маржинальная прибыль (товарный выпуск продукции НПЗ минус затраты на сырье, минус условно-переменные производственные затраты). Для получения значения прибыли или стоимости процессинга необходимо из маржинальной прибыли вычесть условно-постоянные затраты.

Формально, исходя из предлагаемой постановки, рассматриваемая задача моделирования работы производства представлена в виде оптимизационной модели[7]:

$$(1.1) F = \sum_{j=1}^m c_j x_j - \sum_{j=m+1}^n d_j x_j \rightarrow \max,$$

$$(1.2) \underline{b}_i \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + \sum_{j=n+1}^p a_{ij}(x_j) x_j \leq \bar{b}_i, i = 1, \dots, k, x_j \geq 0, j = 1, \dots, p.$$

Здесь:

- c_j — цена продажи единицы x_j , $j = 1, \dots, m$ — переменные продажи потоков модели;
- d_j — стоимость покупки единицы x_j , $j = m+1, \dots, n$ — переменные покупки потоков модели;
- x_j , $j = n+1, \dots, p$ — переменные внутренних потоков модели, нагрузки установок, качество смесей и т. д.;
- a_{ij} — постоянные коэффициенты матрицы ограничений;
- $a_{ij}(x)$ — переменные коэффициенты матрицы ограничений, зависящие от одной или нескольких x_j ;
- \underline{b}_i , \bar{b}_i — левые и правые части ограничений, $i = 1, \dots, k$.
- F — критерием решения данной задачи является максимизация маржинальной прибыли.

Непосредственно из условий (1.2) следует, что модель оптимизационного производственного планирования НПЗ/НХК представляет собой нелинейную задачу математического программирования большой размерности (несколько тысяч переменных). Природа нелинейности задачи планирования производства скрыта в сложных зависимостях параметров производства от значения переменных, например: материальные балансы установок, изменяются в зависимости от качества поступающего сырья; расход потребления энергоресурсов и вспомогательных материалов зависит от загрузки установок и др. Учет условий нелинейности от качества сырья остается актуальным и при выборе корзины нефтей для переработки на перспективу, т.е. при стратегическом и инвестиционном моделировании [5,7].

Структурно модель НПЗ/НХК состоит из подмоделей: установок, объединения (смешения) потоков в соответствии со схемой трубопроводов и смешения товарных нефтепродуктов, и исходные данные представлены для каждой подмоделей. Результаты решения анализируются для общей модели завода и подмоделей.

На предприятиях ОАО «ТАИФ-НК», АО «Танеко» указанные задачи реализованы с использованием системы RPMS (Refinery and Petrochemical Modeling System, текущий релиз R510, разработки корпорации Honeywell, <https://www.honeywellprocess.com>), на ПАО «Нижекамскнефтехим» с рядом химических и нефтехимических заводов указанная система по факту имеется, но применяют и более простые модели в среде Microsoft Excel.

Автоматизированное планирование предприятиями типа НПЗ/НХК в среде RPMS позволяет получить дополнительный операционный доход по имеющимся оценкам более 27 млн. долл. США в год для НПЗ с мощностью 17 млн. т в год по первичной переработке нефти [7].

Система RPMS наряду с построением одно и многопериодных оптимизационных моделей, позволяет создавать и многозаводские модели с учетом первичной логистики с общим критерием оптимизации в виде структуры рис.3.

После актуализации, например, RPMS-модель ПАО «Нижекамскнефтехим» с рядом химических и нефтехимических заводов станет возможным сгенерировать подобную многозаводскую модель на основе RPMS-моделей заводов с разным уровнем агрегирования, и моделировать различные аспекты работы двух первых блоков ННХК. При этом 10 малых и средних производителей промышленной продукции предстанут в многозаводской модели как отдельные вектора вариантов выпуска конечной продукции и увязанные с рынками ее сбыта.

Имеется специализированная апробированная система F_PRESS, позволяющая генерировать многозаводские модели в виде структуры рис. 3 на основе RPMS-моделей заводов с разным уровнем агрегирования, учитывая их взаимосвязи, и формируя общий критерий оптимизации. Детали по системе F_PRESS и необходимые при этом современные средства интеграции данных и генерации модели приведены в [7].

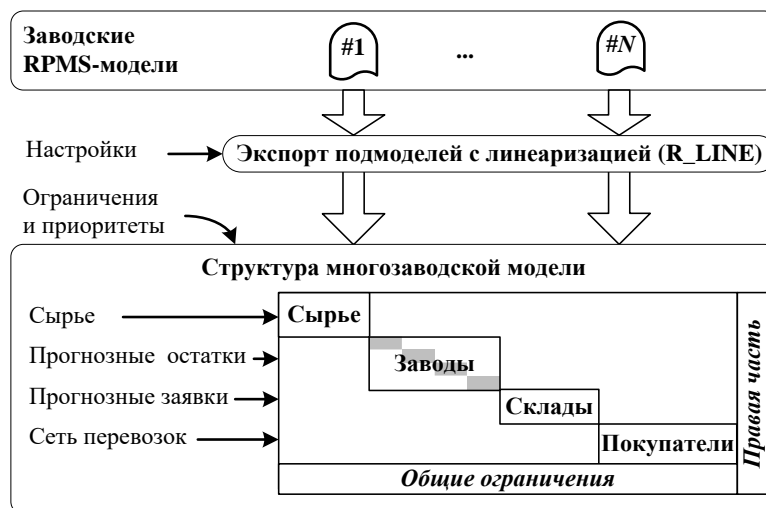


Рис. 3. Структура многозаводской RPMS-модели

После описания подхода к построению многозаводской модели двух первых блоков ННХК, рассмотрим способ построения оптимизационной модели НКШ, что функционирует на предприятии более 20 лет[8].

Модель НКШ — дискретное производство массового характера

Рассмотрим кратко особенности технологии шинного производства и структур данных для моделирования через укрупненную технологическую схему [8] как на рис. 4.

В цехе подготовки осуществляются технологические операции, необходимые для приведения всех видов сырья (производстве шин используется до 100 видов сырья) к форме, в которой они могут быть использованы при производстве шин, такие как разгрузка транспортных средств, освобождение от упаковки и т.п.

В основном продукция блока 2 ННХК рис.2 — каучуки, химикаты, технический углерод через цех подготовки сырья поступает в подготовительное производство, в котором в технологическом процессе 2-х или 3-х стадийного смешения, производится вся номенклатура резиновых смесей, необходимых для производства всех типоразмеров автопокрышек, автокамер и др. запланированных к производству резинотехнических изделий.

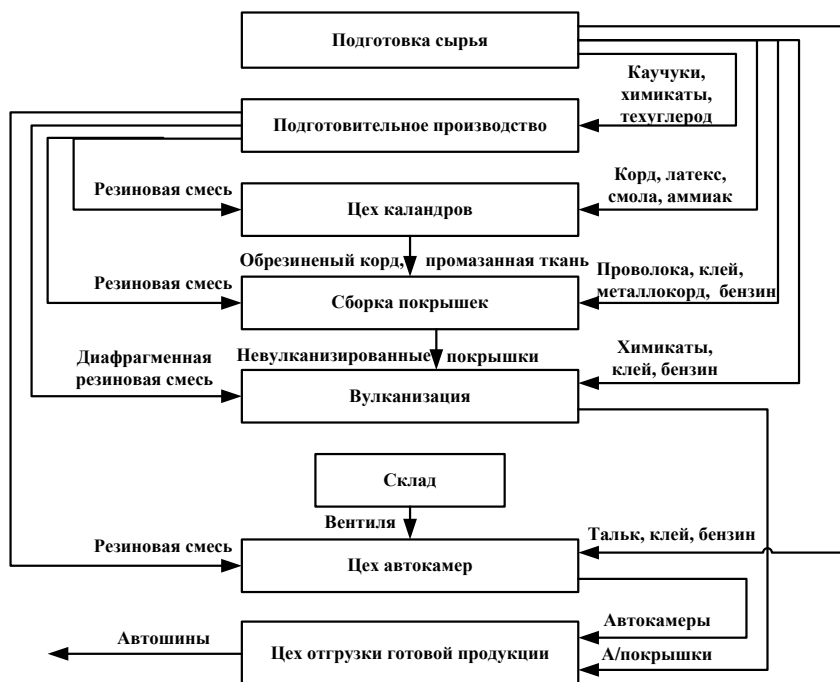


Рис.4. Технологическая структурная схема производства шин

Все подготовленные таким образом необходимые для производства автопокрышек компоненты поступают в сборочное производство, где на специализированных сборочных технологических линиях конвейерного типа осуществляется сборка невулканизированных покрышек, поступающих в дальнейшем на вулканизацию.

Вулканизация осуществляется в технологических аппаратах — вулканизаторах периодического типа, при относительно высоких температурах и давлении, в результате чего получаются готовые автопокрышки.

Наконец, автопокрышки комплектуются автокамерами и отправляются через цех отгрузки готовой продукции потребителям.

Для моделирования производства шин на требуемом уровне агрегирования (детальности) и в соответствии с регламентом производства (где задан ритм) необходимо решить две основные проблемы:

- сбор, обработка и структурирование большого объема разнородных и одновременно взаимосвязанных технико-коммерческих исходных данных многозаводского объединения, которые должны быть учтены в расчете, и представлены в плане;
- организация взаимодействия большого числа специалистов из различных служб в управлении предприятием, и вовлеченных в бизнес-процессы подготовки, принятия и реализации решений по плану производства, закупок и поставок.

В связи указанным уровнем сложности управленческой задачи потребовалось разработать автоматизированный комплекс планирования шинного объединения SOFTYRE. Задача была решена на основе создания и внедрения трех основных компонент методологического, информационного, математического и программного обеспечения [8]:

- методология и подходы к построению структур данных большого объема, учитывающих специфический характер технологических ограничений предметной области;
- математической модели оптимизационного планирования шинного объединения и программных средств ее реализации;
- многопользовательской подсистемы сбора, контроля и диагностики исходных данных.

Реализация программного комплекса оптимизационного планирования шинного производственного объединения для автоматизации процедур формирования структур данных, ведения исходных данных, формирования и актуализации модели планирования, получения решения и его анализа, основано на технологии R_SAND и включает следующий набор основных элементов (см. рис. 4.):

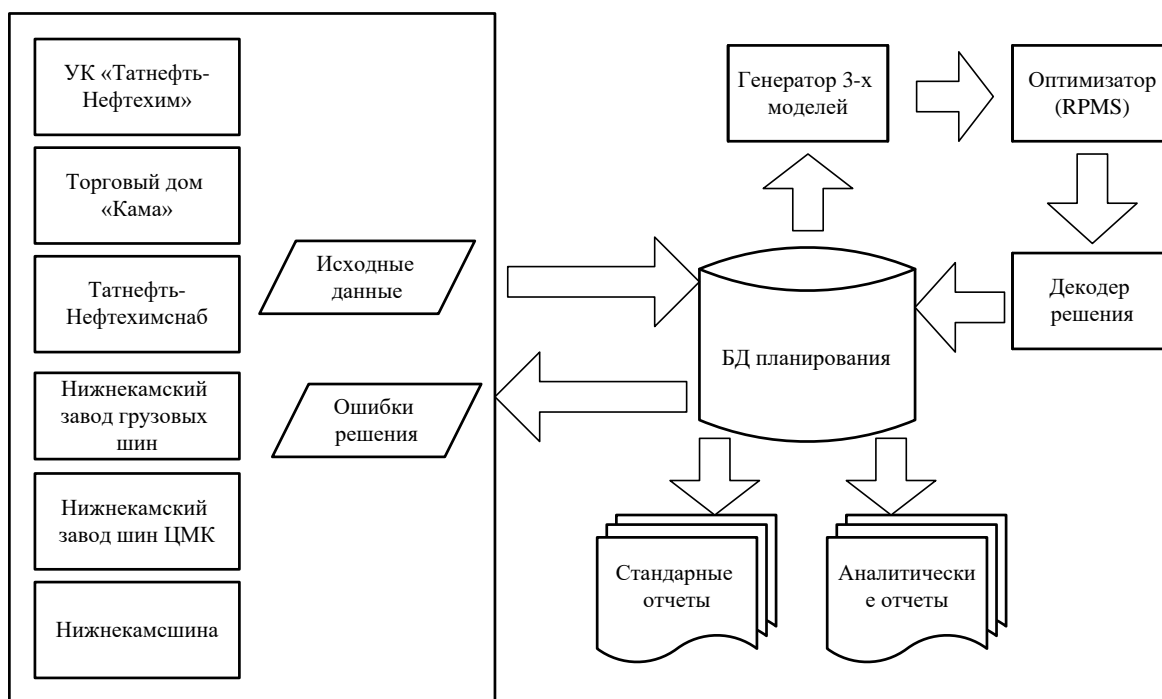


Рис. 4. Реализация оптимизационного моделирования НКШ.

Оптимизационная модель НКШ структуру подобную (1.1, 1.2), где критерий 1.1 будет:

$$F = S - P - L - Z \rightarrow \max,$$

то есть разность:

- **S** — плановой выручки от реализации произведенной продукции,
- **P** — затрат на необходимые для производства закупки сырья, материалов, комплектующих изделий и энергоносителей,
- **L** — затрат на сдельную оплату труда, и
- **Z** — затрат, связанных с созданием и хранением запасов.

Критерий **F** является линейной функцией переменных задачи - объемов закупок сырья, производства изделий и продаж соответствующих товарных позиций.

Опыт длительной эксплуатации программного комплекса SOFTYRE показал свою высокую эффективность, т.к. позволил получить целый ряд преимуществ за счет автоматизации построения модели планирования и интеграции комплекса в программную и организационную среду шинного объединения.

В результате управляющая компания ПАО «Нижекамскшина» решает широкий спектр задач планирования на различные горизонты планирования от декады и далее, а также и проводит инвестиционное моделирование, что является исключительно важным конкурентным преимуществом при меняющейся рыночной конъюнктуре.

Выбранный уровень агрегирования (детализации) моделей ядра ННХК позволяет отразить вариативность производства, автоматизировать способ актуализации моделей и интерпретировать результаты оптимизационного решения специалистами с производств. Именно последнее и позволяет перейти к оценке полученных решений в терминах макропоказателей развития, т.е. придать им корректность для последующего обсуждения и выработки стратегических и инновационных планов развития со специалистами акторов кластера.

Способы моделирования производственной структуры ННХК

Представленные выше три оптимизационных инструмента: RPMS, F_PRESS, SOFTYRE в совокупности и дополненные специализированным модулем расчета макропоказателей развития позволяют моделировать ядро ННХК и его обобщенную структуру, к примеру как на рис.1., по следующей схеме:

1. Сбор, анализ, контроль данных для актуализации моделей комплекса;
2. Актуализация моделей комплекса, проведение серии расчетов для отдельных трех RPMS-моделей, SOFTYRE-модели и интерпретация результатов, что позволит оценить данные п.1., и скорректировать их при необходимости после согласования;
3. Наличие трех RPMS-моделей предприятий ОАО «ТАИФ-НК», АО «Танеко», ПАО «Нижекамскнефтехим» и агрегированное представление балансов производства в виде векторов вход-выход ряда химических и нефтехимических заводов и малых / средних производителей промышленной продукции позволит сгенерировать F_PRESS - модель с общей системой ограничений и выбранным критерием оптимизации.
4. Моделирование средствами F_PRESS различных сценарных условий для этих двух блоков позволит получить семейство решений, например, с экономической оценкой их эффективности в терминах целевой функции и теневых цен по активным ограничениям из набора выражений вида 1.2 формальной постановки задачи;
5. Ряд выделенных решений с шага 3. можно использовать как входные данные системы SOFTYRE для последующего моделирования производства шинной продукции.
6. Анализ результатов решений на шаге 3. и 4. дадут представление об эффективности принятых сценариев развития, что позволит завершить процесс моделирования ядра ННХК или скорректировать сценарные условия и вернуться к шагу 3. и/или 4.
7. Получение оценок макропоказателей развития на основе данных шага 1. и результатов шага 5. с использованием специализированного модуля для последующего обсуждения и выработки стратегических и инновационных планов развития со специалистами акторов кластера под эгидой специализированной организации.

Непосредственно из представленной схемы моделирования с использованием трех оптимизационных инструментов следует, что возможны различные ее модификации, связанные с последовательностью моделирования, уровнем агрегирования моделей производств и выбранным критерием оптимизации.

Отметим по поводу критерия оптимизации, что для измерения и анализа технико - экономического уровня производства в отраслях народного хозяйства отдается предпочтение относительным показателями [3,4,6], таким как фондоотдача, рентабельность и т.п. Введение в задачу линейного программирования критерия в виде относительного показателя, переводит ее в класс дробно-линейной оптимизации, что при существующем прогрессе математического программирования не является вычислительной проблемой. Оптимизационный инструментариум должен будет расширен в части учета подхода, реализующего метод анализа среды функционирования (АСФ и в английской литературе — DEA- Data Envelopment Analysis)[9],

Выводы

1. Промышленные кластеры – одна из бурно развивающихся областей и во многом связана с возрождением отраслевого уровня управления развитием промышленности через объединение в кластеры и, в частности, для эффективной реализации проектов по импортозамещению.
2. Проекты по кластерам могут рассчитывать на существенную поддержку структур правительства -Минэкономразвитие/Минпромторг России через Ассоциации [1] (АКИТ РФ) -некоммерческие структуры и специализированные организации внутри кластеров, как например, ИННОКАМ в ННХК[6].
3. Ассоциации при выборе на реализацию стратегических и инновационных проектов развития из предлагаемых предприятиями кластера, руководствуются оценками макропоказателей развития. Выбранные проекты могут рассчитывать на существенную господдержку. Обзор публикаций последних лет показал, что практически отсутствуют работы по комплексному моделированию кластеров с требуемым уровнем агрегирования их производственного ядра, что существенно снижает значимость оценок макропоказателей, и соответственно качество отбора.
4. Предлагаемый оптимизационный комплекс для моделирования нефтехимических кластеров прошел длительную апробацию в ВИНК [7,8] и совершенствуется непосредственно российской командой в ходе его эксплуатации. Это позволит проводить необходимую модификацию комплекса с появлением новых требований к моделям производственной среды кластера и расчету оценок макропоказателей.
5. Моделирование нефтехимических кластеров подобным комплексом может проводиться только подготовленной командой пользователей и совместно со специализированной организацией, являющейся актором кластера, и которой бы гарантировали доступ к производственной информации и моделям с предприятий входящих в кластер. Например, внешняя консалтинговая команда работает в режиме аутсорсинга и в партнерстве с ИННОКАМ с целью моделировать проекты из обобщенной структуры рис.1. с производственным ядром ННХК рис.2.
6. Предлагаемый подход к построению оптимизационного комплекса моделирования производственного ядра нефтехимического кластера из указанного набора оптимизационных систем обобщается и на другие кластеры с производствами непрерывного и дискретно-массового характера, где комплекс после необходимой настройки, может быть непосредственно использован, например, в режиме аутсорсинга.

Литература

1. Ассоциации развития кластеров и технопарков России, 21.08.2018, - Устав АКИТ РФ. Режим доступа: <http://akitrf.ru/>
2. *Портер М.* Конкуренция: Пер. с англ.: Уч. пос. М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. — 608 с.
3. *Марков Л.С.* Теоретико-методологические основы кластерного подхода. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2015, — 300с.
4. *Агафонов В.А.* Стратегический менеджмент. Модели и процедуры : монография /. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 276 с. — (Научная мысль). — www.dx.doi.org/10.12737/25005. — Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/975795>
5. *Шишорин Ю.Р., Цодиков Ю.М., Мостовой Н.В., Аксенова Т.С.* Оптимизационное моделирование при перспективном планировании предприятий нефтепереработки и нефтехимии// Автоматизация в промышленности, Москва, 2018, №12. — с. 42—47.

6. *Фомин Н.Ю.* Моделирование и оценка эффективности кластерной формы организации нефтехимического производства: Автореф. дис. канд. тех. наук, Казань 2017. — Режим доступа: <http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=171699>
7. *Хохлов А.С., Баулин Е.С., Коннов А.И., Мишутин Д.Ю.* Комплекс интегрированного планирования деятельности ВИНК// Автоматизация в промышленности, Москва, 2018, №12. — с. 15—26.
8. *Артемьев С.Б., Бородин П.Е., Курьянова Е.В.* Опыт автоматизации планирования шинного производства//Автоматизация в промышленности. 2015. № 4. С. 41—46.
9. *Кривоножко В.Е., Лычев А.В.* Моделирование и анализ деятельности сложных систем. — М.: ЛЕНАНД, 2013. — 256 с.